

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-179022

(43)Date of publication of application : 11.07.1997

---

(51)Int.Cl. G02B 13/04  
G02B 13/18

---

(21)Application number : 07-334947

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 22.12.1995

(72)Inventor : TANITSU MASAHIKO

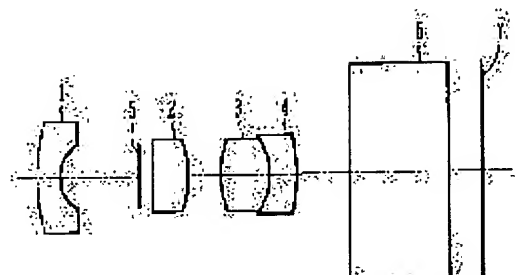
---

(54) SINGLE-FOCUS LENS

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To form the single-focus lens, which has a large aperture ratio and is light, wide-angle, and small in the number of elements, all of plastic and also compensate various aberrations that an spherical plastic lens has.

SOLUTION: This lens is composed of a 1st lens 1 which has negative focal length, a 2nd lens 2 which is arranged having a large air interval against the 1st lens 1 and also has positive focal length, a 3rd lens 3 which has positive focal length, an a 4th lens 4 which has negative focal length in order from an object side. This 1st lens 1 is in a meniscus lens shape which has both its lens surfaces made aspherical and the 2nd lens 2 is a plastic lens in a biconvex lens shape which has its aspherical surface on the image plane side; and the 3rd lens 3 and 4th lens 4 have their surfaces in contact or are cemented together to excellently compensate various aberrations, thus forming the plastic lens.



---

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the  
examiner's decision of rejection or application  
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]



[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-179022

(43) 公開日 平成9年(1997)7月11日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 13/04  
13/18

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 2 B 13/04  
13/18

技術表示箇所

D

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平7-334947

(22) 出願日 平成7年(1995)12月22日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 谷津 雅彦

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株  
式会社日立製作所マルチメディアシステム  
開発本部内

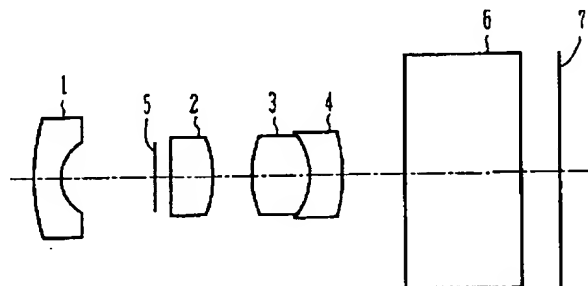
(74) 代理人 弁理士 春日 譲

(54) 【発明の名称】 単焦点レンズ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】大口径比で明るく、広角で、しかも、レンズ枚数の少ない単焦点レンズをオールプラスチック化するとともに、非球面プラスチックレンズより発生する諸収差を補正した単焦点レンズを提供する。

【解決手段】物体側より順に、負の焦点距離を有する第1レンズ1と、第1のレンズ1に対して大きな空気間隔をおいて配置される正の焦点距離を有する第2レンズ2と、正の焦点距離を有する第3レンズ3と、負の焦点距離を有する第4レンズ4とから構成され、第1レンズ1は、像面側に凹面を向けたメニスカスレンズ形状で、レンズ両面に非球面を設けたプラスチックレンズとし、第2レンズ2は、両凸のレンズ形状で、像面側に非球面を設けたプラスチックレンズとし、以下同様にして第3レンズ3と第4レンズ4を面当て若しくは貼り合わせとすることによって、諸収差を良好に補正して、プラスチックレンズ化できる。



1: 第1レンズ  
2: 第2レンズ  
3: 第3レンズ  
4: 第4レンズ  
5: 絞り

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 物体側より順に、

負の焦点距離を有する第1レンズと、  
この第1のレンズに対して大きな空気間隔をおいて配置  
される正の焦点距離を有する第2レンズと、

正の焦点距離を有する第3レンズと、  
負の焦点距離を有する第4レンズとから構成される単焦  
点レンズにおいて、

上記第1レンズは、像面側に凹面を向けたメニスカスレ  
ンズ形状で、しかも、レンズ両面に非球面を設けたプラ  
スチックレンズとし、

上記第2レンズは、両凸のレンズ形状で、しかも、像面  
側に非球面を設けたプラスチックレンズとし、

上記第3レンズは、両凸のレンズ形状で、しかも、物面  
側に非球面を設けたプラスチックレンズとし、

上記第4レンズは、物面側に凹面を向けたメニスカスレ  
ンズ形状で像面側に非球面を設けたプラスチックレンズ  
とし、

上記第3レンズと上記第4レンズを面当て若しくは貼り  
合わせとしたことを特徴とする単焦点レンズ。

【請求項2】 請求項1記載の単焦点レンズにおいて、  
上記第1レンズの物面側のレンズ面の非球面量を $\Psi 1$

(a)とし、像面側のレンズ面の非球面量を $\Psi 1$ (b)  
とするとき、

$$\Psi 1(a) > 0$$

$$\Psi 1(b) < 0$$

の条件を満たし、さらに、

$$(\Psi 1(a) + \Psi 1(b)) < 0$$

の条件を満足し、ここで、各非球面での非球面量 $\Psi$ は、  
非球面式の円錐定数Kと4次の係数A4、及び、レンズ  
面の曲率半径rとレンズ面前後の屈折率差 $\Delta N$ を用い  
て、

$$\Psi = (K/8/r^3 + A4) \cdot \Delta N$$

で定義されることを特徴とする単焦点レンズ。

【請求項3】 請求項2記載の単焦点レンズにおいて、  
上記第1レンズの物面側のレンズ面の非球面量 $\Psi 1$

(a)と像面側のレンズ面の非球面量 $\Psi 1$ (b)の和  
は、

$$-0.015 < \Psi 1(a) + \Psi 1(b) < -0.005$$

の条件を満足することを特徴とする単焦点レンズ。

【請求項4】 請求項1記載の単焦点レンズにおいて、  
上記第1レンズのベンディング係数をB1とするとき、

$$-1.2 < B1 < -1$$

の条件を満足し、ここで、ベンディング係数Bは、レン  
ズ玉の物面側の曲率半径r(a)と像面側の曲率半径r  
(b)を用いて、

$$B = [r(b) + r(a)] / [r(b) - r(a)]$$

で定義されることを特徴とする単焦点レンズ。

【請求項5】 請求項1記載の単焦点レンズにおいて、  
上記第3レンズと上記第4レンズの面当て若しくは貼り

合わせレンズ面の曲率半径をrとし、上記第1レンズか  
ら上記第4レンズまでのレンズによって構成されるレン  
ズ系全体の焦点距離をfとするとき、

$$-0.65 < r/f < -0.50$$

の条件を満足することを特徴とする単焦点レンズ。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、単焦点レンズに係  
り、特に、オールプラスチック化に好適な単焦点レンズ  
に関する。

【0002】

【従来の技術】CCDカメラに搭載することができる単  
焦点レンズは、セキュリティ分野での監視カメラ、自動  
車の後部監視用カメラ、鉄道・航空機・船舶等の乗り物  
類の内外監視用カメラ、屋内・屋外での観察用カメラ、  
防犯カメラ等に広く利用できるものである。また、小形  
の単焦点レンズを搭載したボードカメラは、テレビ電話  
機、テレビ会議システムやテレビドアホンといった画像  
転送が主目的のツールはもとより、パソコン・ワークス  
テーションへの内蔵といった分野に広く利用できるもの  
である。

【0003】従来より、比較的広画角の撮影レンズに  
は、負の屈折力の前群と正の屈折力の後群の2つのレン  
ズ群を配置した、いわゆるレトロフォーカス型を採用し  
たものが多く用いられている。また、撮像素子サイズを  
小形化する際にも、一定の画角を確保すると撮影レンズ  
のバックフォーカスが短くなるので、やはり、レトロフ  
ォーカス型を採用する必要性が生じている。

【0004】レトロフォーカス型の撮影レンズは、バッ  
クフォーカスを長く採れる長所があるが、前群で発散さ  
せた光束を後群で収束させるレンズ構成を採っている為  
に、球面収差、非点収差や歪曲収差等の軸外収差の発生  
量が多いものである。一般に、これらの諸収差を良好に  
補正するのは、レンズ構成が非対称である為、対称に近いガウス型の撮影レンズに比べると大変困難である。

【0005】特に、Fナンバーを小さくし、大口径比化  
を図ろうとすると、高次の球面収差が多く発生し、又、  
像面湾曲が大きくなり、画面全体の像面の平坦性が崩  
れ、更に、歪曲収差が負の方向へ著しく増大すること  
になる。

【0006】明るさ及び撮影画角を一定に保ちつつ、良  
好なる光学性能を得るには、例えば、レンズ枚数を増加  
させるか、あるいは、前群と後群の双方の屈折力を弱め  
る方法がある。しかしながら、これらの方法は、いずれ  
もレンズ全長が長くなり、レンズ系全体が大形化する。  
又、バックフォーカスを十分長く採る為には、前群と後  
群との距離を増大させれば良いが、あまり増大させると  
レンズ全長が長くなり、撮影レンズの小形化を図るのが  
困難になってくる。

【0007】Fナンバー2.8、撮影画角37°～38度

で、レンズ枚数が比較的少ない5枚で構成したレトロフォーカス型の撮影レンズについては、例えば、特開昭54-12723号公報、特開昭57-163212号公報に記載されている。しかしながら、これらの撮影レンズは、レンズ枚数を少なくした為に、画面中間にかけて、色のコマ収差や非点収差が残存しており、又、画角が大きくなるにつれて倍率色収差が増大している。

【0008】これらの問題点を解決するために、非球面を用いた広角レンズが、例えば、特開昭62-78520号公報に記載されている。しかしながら、この非球面を用いた広角レンズは、レンズ枚数が依然5枚と多く、レンズ枚数の低減及び小型化は達成されていないものである。

【0009】一方、レンズ枚数が3枚構成のレトロフォーカス型の撮影レンズとしては、例えば、特開平6-34878号公報、特開平6-34879号公報、特開平6-82690号公報に記載されている。しかしながら、特開平6-34878号公報と特開平6-34879号公報に記載されたレンズは、非球面が無いものの、Fナンバーが4〜5と大きく、大口径化は達成されていないものである。また、特開平6-82690号公報に記載されたレンズは、Fナンバーが1.4であるものの、非球面ガラスレンズ玉を3枚用いており、低コスト化が達成されていないものである。

【0010】

$$\psi_{凸} + \psi_{凹} = \psi'_{凸} + \psi'_{凹} \quad \dots\dots (1)$$

$$\psi_{凸}/\nu_{凸} + \psi_{凹}/\nu_{凹} = \psi'_{凸}/\nu'_{凸} + \psi'_{凹}/\nu'_{凹} \quad \dots\dots (2)$$

但し、 $\psi$ と $\psi'$ はレンズ玉のパワー（レンズ玉の焦点距離の逆数）、 $\nu$ と $\nu'$ はレンズ玉のアッペ数であり、『』の無い左辺がガラスレンズ玉の、『』の有る右辺がプラスチックレンズ玉の値を表している。また、添字の凸は凸レンズを、凹は凹レンズでの値を表している。

【0014】ここで、凸ガラスレンズの屈折率を1.71300、アッペ数を53.9とし、凹ガラスレンズの屈折率を1.84666、アッペ数を23.9として、見積もりを行った。

【0015】このとき、式(1)の左辺は、 $\psi_{凸}=0.22$ 、 $\psi_{凹}=-0.13$ となり、また、 $\nu_{凸}=54$ 、 $\nu_{凹}=24$ である。また、プラスチックレンズ材料はもとのガラスレンズのアッペ数に近い材料を選択し、 $\nu'_{凸}=58$ （ポリメチルメタアクリレート）、 $\nu'_{凹}=30$ （ポリカーボネイト）となる。従って、式(1)、式(2)を用いて、プラスチックレンズ玉のパワーを求めると、 $\psi'_{凸}=0.27$ 、 $\psi'_{凹}=-0.18$ となる。

【0016】また、レンズ面のパワー $\psi$ は、レンズ面の曲率半径 $r$ と屈折率 $N$ を用いて、式(3)で定義されるので、ガラスレンズ玉をプラスチック化する際のレンズ

【発明が解決しようとする課題】出願人は、前後群の焦点距離の規定及び非球面プラスチックレンズの導入によって、Fナンバー1.8を達成した広角レンズを特開平2-208617号公報で提案している。この中では、凹レンズの前群と凸レンズ・凹レンズ・凸レンズの後群で構成されたレンズ枚数4枚の実施例と、凹レンズの前群と凸レンズ（アッペ数70）・凸レンズの後群で構成されたレンズ枚数3枚の実施例について記載している。

【0011】ところで、通常はレンズ外径が小さくなると、材料費と加工費が小さくなり、低コスト化が図れる。しかし、ガラスレンズ玉では、レンズ玉外径が小さくなり過ぎると研磨加工が困難となり、例えば、レンズ玉外径 $\phi 10\text{mm}$ より、 $\phi 3\text{mm}$ の方がコストが大きくなる。従って、低コスト化をさらに進めるためには、ガラスレンズ玉を無くすこと、即ち、オールプラスチックレンズ化を図る必要がある。

【0012】プラスチックレンズは、その成形性から非球面を低コストで得られるが、プラスチックレンズ材料の種類が限られており、屈折率とアッペ数の制限から収差補正及び色収差補正が困難となる。

【0013】例えば、凸ガラスレンズと凹ガラスレンズの貼り合わせレンズをプラスチック化する場合の、レンズ面の曲率半径の変化見積もりについて、式(1)及び式(2)を用いて説明する。

面の曲率半径 $r$ の変化は、凸レンズが0.56倍、凹レンズが0.50倍となる。

$$\psi = (N-1)/r \quad \dots\dots (3)$$

即ち、単純なプラスチック化の見積もりでも、レンズ面の曲率半径 $r$ が約半分の値になることがわかる。

【0017】出願人は、先に、特願平6-142844号（平成6年6月24日出願）において、第1レンズと第2レンズをプラスチックレンズとし、第3レンズと第4レンズをガラスレンズとした単焦点レンズを提案しており、ここで、第3レンズと第4レンズの貼り合わせ面の曲率半径は、 $-4.39\text{mm}$ となっている。

【0018】非球面（第1面）を含めたレンズデータは、以下に示すようになっており、これによって、軸上収差 $-0.017\text{mm}$ 、倍率収差 $0.013\text{mm}$ （像高 $2.2\text{mm}$ ）を得ている。ここで、 $r(i)$ は物体側より順に第 $i$ 番目のレンズ面 $S(i)$ の曲率半径であり、 $d(i)$ はレンズ面 $S(i)$ からレンズ面 $S(i+1)$ の間の光軸上の距離であり、 $N(j)$ は物体側より順に第 $j$ 番目のレンズの屈折率であり、 $\nu(j)$ は物体側より順に第 $j$ 番目のレンズのアッペ数である。

S	r	d	N	$\nu$
1	19.393	0.980	1.49200	57.9

2	2.525	2.621		
3	(絞り)	1.780		
4	-17.360	2.230	1.49200	57.9
5	-4.203	0.900		
6	10.525	2.205	1.71300	53.9
7	-4.389	0.500	1.84666	23.9
8	-13.966	3.000		
9	$\infty$	4.500	1.52307	58.5
10	$\infty$			

この第3レンズと第4レンズをプラスチックレンズにすると、曲率半径は、ガラスレンズの半分以下、即ち、 $-2\text{mm}$ 相当まで小さくなる。さらに、プラスチックレンズ化するために、貼り合わせ面を剥がすと、3次の球面収差係数が、 $-15.6$ から $262.5$ （第3レンズの像面側）と $-278.2$ （第4レンズの物面側）と大きくなり、さらに、曲率半径が小さくなることによって、諸収差量が大幅に増大する。

【0019】この結果、レンズ面で発生する諸収差が大きくなり、収差補正が困難になる。また、実際は、レンズ面の曲率半径 $r$ が小さくなると、レンズ玉のコバ厚が減少するので、その補正の結果、さらにレンズ面の曲率半径 $r$ は小さくする必要があり、さらに、諸収差が大きくなる。

【0020】本発明の目的は、大口径比で明るく、広角で、しかも、レンズ枚数の少ない単焦点レンズをオールプラスチック化するとともに、非球面プラスチックレンズを用いたことにより発生する諸収差を補正した単焦点レンズを提供するにある。

【0021】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、物体側より順に、負の焦点距離を有する第1レンズと、この第1のレンズに対して大きな空気間隔をおいて配置される正の焦点距離を有する第2レンズと、正の焦点距離を有する第3レンズと、負の焦点距離を有する第4レンズとから構成される単焦点レンズにおいて、上記第1レンズは、像面側に凹面を向けたメニスカスレンズ形状で、しかも、レンズ両面に非球面を設けたプラスチックレンズとし、上記第2レンズは、両凸のレンズ形状で、しかも、像面側に非球面を設けたプラスチックレンズとし、上記第3レンズは、両凸のレンズ形状で、しかも、物面側に非球面を設けたプラスチックレンズとし、上記第4レンズは、物面側に凹面を向けたメニスカスレンズ形状で像面側に非球面を設けたプラスチックレンズとし、上記第3レンズと上記第4レンズを面当て若しくは貼り合わせとするようにしたものであり、かかる構成によって、大口径比で明るく、広角で、しかも、レンズ枚数の少ない単焦点レンズをオールプラスチック化するとともに、非球面プラスチックレンズを用いたことにより発生する諸収差を補正し得るものとなる。

【0022】上記単焦点レンズにおいて、好ましくは、

上記第1レンズの物面側のレンズ面の非球面量を $\Psi 1$  (a)とし、像面側のレンズ面の非球面量を $\Psi 1$  (b)とすると、

$$\Psi 1(a) > 0$$

$$\Psi 1(b) < 0$$

の条件を満たし、さらに、

$$(\Psi 1(a) + \Psi 1(b)) < 0$$

の条件を満足し、ここで、各非球面での非球面量 $\Psi$ は、非球面式の円錐定数 $K$ と4次の係数 $A4$ 、及び、レンズ面の曲率半径 $r$ とレンズ面前後の屈折率差 $\Delta N$ を用いて、

$$\Psi = (K/8/r^3 + A4) \cdot \Delta N$$

で定義されるようにしたものである。

【0023】上記単焦点レンズにおいて、好ましくは、上記第1レンズの物面側のレンズ面の非球面量 $\Psi 1$  (a)と像面側のレンズ面の非球面量 $\Psi 1$  (b)の和は、

$$-0.015 < \Psi 1(a) + \Psi 1(b) < -0.005$$

の条件を満足するようにしたものである。

【0024】上記単焦点レンズにおいて、好ましくは、上記第1レンズのベンディング係数を $B1$ とすると、

$$-1.2 < B1 < -1$$

の条件を満足し、ここで、ベンディング係数 $B$ は、レンズ玉の物面側の曲率半径 $r$  (a)と像面側の曲率半径 $r$  (b)を用いて、

$$B = [r(b) + r(a)] / [r(b) - r(a)]$$

で定義されるようにしたものである。

【0025】上記単焦点レンズにおいて、好ましくは、上記第3レンズと上記第4レンズの面当て若しくは貼り合わせレンズ面の曲率半径を $r$ とし、上記第1レンズから上記第4レンズまでのレンズによって構成されるレンズ系全体の焦点距離を $f$ とすると、

$$-0.65 < r/f < -0.50$$

の条件を満足するようにしたものである。

【0026】

【発明の実施の形態】最初に、本発明の一実施の形態による単焦点レンズの構成について、図1を用いて説明する。図1は、本発明の一実施の形態による単焦点レンズのレンズ構成図である。

【0027】広角の単焦点レンズは、物体側から順次、プラスチックレンズで負の焦点距離を有する第1レンズ

1、プラスチックレンズで正の焦点距離を有する第2レンズ2、プラスチックレンズで正の焦点距離を有する第3レンズ3、プラスチックレンズで負の焦点距離を有する第4レンズ4、絞り（又は固定の開放絞り）5から構成されている。この単焦点レンズの像面には、撮像素子7が配置され、単焦点レンズの第4レンズ4と撮像素子7の間には、フィルター・フェイスプレート等を1つにまとめた平行平板6が配置される。

【0028】物体側より順に、第1レンズ1は、像面側に凹面を向けたメニスカスレンズ形状のレンズである。第1レンズ1と第2レンズ2の間には、大きな空気空間が形成され、この空間に、絞り5が配置される。第2レンズ2及び第3レンズ3は、両凸のレンズである。第4レンズ4は、物体側に凹面を向けたメニスカスレンズ形状のレンズである。

【0029】さらに、第1レンズ1の両面と、第2レンズ2の像面側と、第3レンズ3の物体側と、第4レンズ4の像面側に非球面を設けている。また、第3レンズ3と第4レンズ4を面当てとしている。

【0030】以上のレンズ構成により、広角な単焦点プラスチックレンズを構成すると共に、大口径比でしかもレンズ枚数4枚という簡素化を図り、さらに、諸収差性能の改善を図った単焦点プラスチックレンズを達成している。

【0031】次に、以上のような構成とした理由について、以下に説明する。

【0032】焦点距離が3.3～4.4mmと小さく、広角で、しかも、撮像素子サイズの小さな単焦点レンズの場合、バックフォーカスを確保するためには、撮影レンズをレトロフォーカス型とする必要がある。

【0033】レトロフォーカス型の撮影レンズでは、絞りより前方の遠く離れたところに配置した負の第1レンズ群での軸上光線の光線高さが小さく、逆に、主光線の光線高さが大きくなっている。そして、後方で絞りのすぐ後に配置した第2レンズ群での軸上光線の光線高さが大きく、逆に、主光線の光線高さが小さくなっている。従って、軸上光線の光線高さが大きい第2レンズ群で主に軸上色収差が発生し、主光線の光線高さが大きい第1レンズ群で主に倍率色収差が発生する。すなわち、軸上色収差と倍率色収差を同時に補正するためには、第1レンズ群と第2レンズ群に凹レンズと凸レンズを組み合わせる用いることが必要となる。しかしながら、レンズ枚数が増えると、レンズ全体が大きく、長くなる。

【0034】第1レンズ群は、凹レンズ1枚で構成し、倍率色収差の発生量を抑える理由から、アップ数の大きなレンズ材料が選ばれる。また、第2レンズ群は、軸上色収差の発生量を抑える理由から、凹凸の各レンズ玉が用いられる。さらに、第1レンズ群で発生する倍率色収差量を補正するために、第2レンズ群の内、凹レンズの位置は絞りから離れた主光線の光線高さが大きくなる一番

後ろに配置する。その結果、レンズ構成は、第1レンズ群が凹レンズ玉1枚、第2レンズ群が凸凸凹のレンズ玉3枚となる。

【0035】第3レンズと第4レンズがガラスレンズの場合は、周辺光量比を確保するために、第3レンズと第4レンズを貼り合わせレンズとし全反射を防止する。しかし、プラスチックレンズの場合は、一般に、貼り合わせが難しいので、図1においては、第3レンズと第4レンズのレンズ面同士を、間隔0mmの空気層で合わせる面当てを行なっている。この理由は、以下の2つである。

【0036】第1の理由は、レンズ玉の偏心倒れの問題である。第3レンズ3と第4レンズ4の向かい合ったレンズ面の曲率半径は小さいので、このレンズ面で発生する収差量は特に大きい。従って、第3レンズ3と第4レンズ4の偏心倒れを防止することが重要となる。このレンズ面を面当てとすることによって、仮に倒れが起きても、同じ曲率半径同士なので、レンズ面の倒れは実質的に防止できる。このとき、第3レンズ3を基準に考えると、第4レンズ4の像面側のレンズ面が偏心倒れを起こしている。しかし、この像面側のレンズ面の曲率半径は、面当てのレンズ面、即ち、第4レンズ4の物面側のレンズ面の曲率半径に比べて大きいので、同じ偏心倒れ量が起きても収差劣化量が小さくてすむからである。

【0037】第2の理由は、光線がレンズ面等で反射して起こるゴーストの問題である。第3レンズ3の像面側のレンズ面と、第4レンズ4の物面側のレンズ面は、色収差補正のために、小さな曲率半径のレンズ面となる。面当てせずに、同じ或いは似た曲率半径のレンズ面を空気間隔を挟んで対面させた場合は、第4レンズ4の物面側の凹面で反射した光線は、光軸側に曲げられ、次に、すぐそばの第3レンズ3の像面側のレンズ面で反射させ、もとの反射していない光線のすぐ下側（光軸側）を通過していくので、ゴーストが、光源の像位置より像面中央に近い箇所に生じ、問題となる。しかし、ゴースト像を光源の像に重ねる、或いは、光源の像のすぐそばに生じさせることによって、実質上、ゴーストを目立たなくできる。このためには、第3レンズ3と第4レンズ4を、同じ曲率半径のレンズ面で面当てすることが有効である。ゴーストだけの問題であれば、2面の曲率半径をほぼ等しくすれば実質上十分であるが、上述した偏心倒れの問題があるので、面当ての構成としている。

【0038】なお、一般に、プラスチックレンズの貼り合わせは難しいと言われているが、プラスチックレンズの貼り合わせが容易にできるようになれば、第3レンズ3と第4レンズ4を貼り合わせとした方が良いものである。即ち、第3レンズ3と第4レンズ4は、面当て若しくは貼り合わせとする。

【0039】面当てとした第3レンズ3と第4レンズ4のレンズ面の曲率半径  $r$  を、レンズ系全体の焦点距離  $f$

で割り、規格化した色収差補正の条件について、式(4)を用いて説明する。

$$-0.65 < r/f < -0.50 \quad \dots\dots (4)$$

この式(4)の上限を越えると、レンズ面の曲率半径の絶対値が小さくなり過ぎ、F値の光線がこのレンズ面で全反射を起こしてしまい、F値の確保が困難となる。逆に、この式の下限を越えると、レンズ面の曲率半径の絶対値が大きくなり過ぎ、色収差補正の効果が小さくなり、色収差補正が不十分となる。

【0040】次に、曲率半径が小さくなり増大した諸収差を補正するための非球面の配置及び非球面量 $\Psi$ の条件について説明する。

【0041】非球面は、第1レンズ1の両面と、第2レンズ2の像面側と、第3レンズ3の物面側と、第4レンズ4の像面側に設けている。

【0042】第1レンズ1では、主光線の光線高さが大きいので、第1レンズ1の非球面では、主に、コマ収差や非点収差の補正を行なっている。第1レンズ1の物体側のレンズ面は、曲率半径が大きいので、主光線の法線に対する入射角度が大きくなり、大きなコマ収差や非点収差が発生している。このレンズ面に負の非球面量 $\Psi$ を設けると、球面回帰した際の曲率半径がさらに大きく、

$$-0.015 < \Psi_1(a) + \Psi_1(b) < -0.005 \quad \dots\dots (9)$$

即ち、第1レンズの物面側の非球面量と像面側の非球面量の和 $\Psi_1(a) + \Psi_1(b)$ が、 $-0.015$ より小さいと、オーバーコレクションとなり、また、非球面量の和 $\Psi_1(a) + \Psi_1(b)$ が、 $-0.005$ より大きいと、アンダーコレクションとなるため、式(9)の範囲とすることが好ましい。

【0044】第2レンズ2は、絞りのそばにあり、主光線の光線高さが小さいため、第2レンズ2の非球面では、主に球面収差の補正を行っているため、非球面量 $\Psi$ は負の値としている。

【0045】絞りから離れ、主光線の光線高さが大きい第4レンズ4の非球面では、主に第4レンズ4は、コマ収差や非点収差の補正を行うため、非球面量 $\Psi$ は負の値としている。

【0046】ところで、第2レンズ2の非球面量 $\Psi$ は、第2レンズ2での主光線の光線高さが0ではないので、

$$B = [r(b) + r(a)] / [r(b) - r(a)] \quad \dots\dots (11)$$

式(10)で規定した条件について、図2乃至図6を用いて説明する。

【0049】図2は、ベンディング係数Bを変化させた時のレンズ形状を模式的に示す図である。

【0050】図2は、第1レンズ1の形状を、ベンディング係数 $B_1 = -1.01$ に対して、 $\pm 0.1$ 変化させたときの变化を表している。図2(A)は、ベンディング係数 $B_1 = -0.91$ の場合の第1レンズ1のレンズ形状を表しており、物面側は、僅かな凹面となっている。図2(B)は、ベンディング係数 $B_1 = -1.01$

或いは負の値になるなどして、さらに主光線の法線に対する入射角度が大きくなる。そこで、物体側のレンズ面で正の非球面量 $\Psi$ を発生させ、逆に、像面側のレンズ面で負の非球面量 $\Psi$ を発生させ、さらに、第1レンズ1全体では、負の非球面量 $\Psi$ を発生させて、コマ収差や非点収差の補正を行なっている。

【0043】即ち、第1レンズの非球面量を、式(5)、式(6)、式(7)を満足するように特定している。

$$\Psi_1(a) > 0 \quad \dots\dots (5)$$

$$\Psi_1(b) < 0 \quad \dots\dots (6)$$

$$\Psi_1(a) + \Psi_1(b) < 0 \quad \dots\dots (7)$$

但し、 $\Psi_1(a)$ は、第1レンズ1の物面側のレンズ面の非球面量とし、 $\Psi_1(b)$ は、第1レンズ1の像面側のレンズ面の非球面量とし、非球面量 $\Psi$ は、非球面の円錐定数Kと4次の係数A4とレンズ面の曲率半径rとレンズ面前後の屈折率差 $\Delta N$ を用いて、式(8)で定義する値とする。

$$\Psi = (K/8/r^3 + A4) \cdot \Delta N \quad \dots\dots (8)$$

さらに、第1レンズの物面側の非球面量と像面側の非球面量の和 $\Psi_1(a) + \Psi_1(b)$ について検討し、好ましくは、式(9)の範囲としている。

コマ収差や非点収差に影響を及ぼす。同様に、第4レンズ4の非球面量 $\Psi$ は、第4レンズ4での軸上光線の光線高さが0ではないので、球面収差にも影響を及ぼす。そこで、第3レンズ3の非球面は、第2レンズ2と第4レンズ4の非球面量 $\Psi$ による球面収差の補正と、コマ収差と非点収差の補正をバランスさせる働きを行うような、非球面量 $\psi$ としている。

【0047】以上が、本発明の基本レンズ構成及び非球面についての説明である。

【0048】次に、第1レンズ1の形状について説明する。式(10)は、第1レンズ1のベンディング係数 $B_1$ について規定した条件である。

$$-1.2 < B_1 < -1 \quad \dots\dots (10)$$

但し、ベンディング係数Bは、レンズ玉の物面側の曲率半径r(a)と像面側の曲率半径r(b)を用いて、式(11)で定義する値である。

の場合の第1レンズ1のレンズ形状を表している。ベンディング係数 $B_1 = -1.0$ の場合は、平面であるため、ベンディング係数 $B_1 = -1.01$ の場合は、第1レンズ1の物面側は、僅かな凸面となっている。図2(C)は、ベンディング係数 $B_1 = -1.11$ の場合の第1レンズ1のレンズ形状を表しており、第1レンズ1の物面側は、凸面となっている。

【0051】図2においては、非球面を削除し、ベンディング係数 $B_1$ の違いによる変化のみを表している。

【0052】次に、図3を用いて、非球面の影響につい



て説明する。図3は、ベンディング係数 $B1 = -0.91$ のレンズに非球面を設けた時のレンズ形状を模式的に表す図である。

【0053】図は、ベンディング係数 $B1 = -0.91$ のときのレンズ形状を表しており、物体側の曲率半径が $-37.084\text{mm}$ であり、像面側の曲率半径が $1.729\text{mm}$ となっている。この物体側のレンズ面に、上述したように非球面量 $\Psi > 0$ の非球面を設けると、レンズ面は、図中に点線（誇張して表示している）で示したような非球面形状となる。この非球面による近軸球面からのズレ量は、後述する式(13)に示す非球面式の定義より、光軸から離れる程大きくなるので、その結果、図3に点線で示すようなレンズ面形状が得られる。

【0054】即ち、光軸のそばが凹面で、光軸から一番離れたコバ部が凸面となるので、途中のレンズ面で変曲点を持つことになり、非球面プラスチックレンズの金型の作成が困難となる。

【0055】ここで、ベンディング数 $B1$ を $-1.0$ とすると、変曲点は生じなくなるので、かかる点からして、

$$B1 \leq -1.0$$

とすればよいわけであるが、 $B1 = -1.0$ の時は、ゴーストの問題が生じるので、

$$B1 < -1.0$$

とすれば、変曲点がなく、金型の作成も可能であり、しかも、ゴーストの問題も生じなくなる。なお、ゴーストの問題については、図5、図6を用いて後述する。

【0056】次に、図4を用いて、レンズ面の傾きについて説明する。図4は、ベンディング係数 $B1 = -1.11$ のレンズのレンズ面の傾きを説明する図である。

【0057】ベンディング係数 $B1 = -1.11$ のとき、物体側の曲率半径が $29.241\text{mm}$ 、像面側の曲率半径が $1.537\text{mm}$ となっている。この場合は、像面側のレンズ面の曲率半径が小さくなるので、レンズ面の傾き $\theta$ （光軸からの距離 $1.195\text{mm}$ ）が $47.2$ 度（実際の非球面では $56.3$ 度）から $51.1$ 度（実際の非球面では $60.2$ 度）と大きくなった。但し、ベンディングによる影響を比較するために非球面は削除し評価してある。

【0058】ベンディング係数 $B1 = -1.2$ となると、レンズ面の傾き $\theta$ が実際の非球面で $64$ 度となり、ベンディング係数 $B1$ を下限値よりも小さくすると、レンズ面の傾き $\theta$ が大きくなり、非球面プラスチックレンズの形状測定が困難になる。

【0059】一方で、収差量についても、ベンディング係数を $B1 = -1.01$ から $B1 = -1.11$ に変更したとき、3次の球面収差係数が $-30$ から $-33$ に、3次のコマ収差係数が $1.33$ から $1.61$ に、3次の非点収差係数が $-0.059$ から $-0.080$ とそれぞれ増大してする。なお、3次の収差係数は、ベンディングに

よる影響を比較するために非球面は削除し評価してある。

【0060】次に、図5、図6を用いて、ゴーストの問題について説明する。図5は、第1反射面が撮像素子7の撮像面であり、第2反射面が第1レンズ1の物体側のレンズ面で、且つ、平面である場合のゴーストの反射光線を模式的に表した図である。

【0061】光源 $P1$ （光軸からの位置 $Y1$ ）が光軸に近い場合は、光源 $P1$ の像の位置 $H1$ も小さくなる。この場合は、レンズ面等でケラレずに像面まで到達できる光束の大きさ（断面積）は大きくなる。撮像素子7の撮像面で反射した光線の中で、この光束に含まれる反射光線は、光線追跡の可逆性から、もとの光源 $P1$ の位置 $Y1$ に戻る経路をたどる。このとき、平面と仮定した第2反射面（位置 $Y0$ ）で反射が起き、みかけ上の光源 $P2$ （位置 $Y2$ ）のゴースト像が位置 $H2$ に結像する。この理由は、みかけ上の光源 $P2$ がもとの光源 $P1$ と同じ光軸上の距離にあるので、物と像の結像関係が保持されるためである。また、反射の対称性より、 $Y1$ と $Y2$ に関して、式(12)が成立する。

$$Y1 + Y0 = Y2 - Y0 \quad \dots\dots (12)$$

ここで、 $Y0$ が $Y1$ と $Y2$ に比べ充分に小さい場合、数(12)式より、 $Y1 = Y2$ が得られる。このことは、 $H1 = H2$ ともなるので、光源 $P1$ が、光軸に近い位置 $Y1$ で画面内に入っている場合は、必ずゴースト像が生じることを意味している。

【0062】ところで、光源 $P1$ が光軸から遠い場合は、第1反射面の撮像素子7の撮像面で反射した光線がより上向きの光線となり、図で示した光束の上限を越えてしまい、想定した第2反射面まで光線が到達できなくなる。

【0063】以上説明した例について、図6を用いて説明する。図6(A)は、 $H1 = 0.50\text{mm}$ の場合でのゴーストの様子を示す図であり、図6(B)は、 $H2 = 1.00\text{mm}$ の場合でのゴーストの様子を示す図である。

【0064】 $H2 = 1.00\text{mm}$ の場合は、第1反射面である撮像素子7の撮像面で反射した多くの光束が、光軸から離れレンズ面を通過できていないことがわかる。さらに、第2反射面である第1レンズ1の物体側のレンズ面に到達した光線も、光軸から離れた位置での反射となっているため、やはり、レンズ面を通過できていない。ところで、第1レンズ1の物体側のレンズ面に、式(8)で示す非球面量 $\Psi$ が、正の値である非球面を設けているので、近軸の曲率半径より球面回帰の曲率半径の方が小さくなる。この図では、近軸の曲率半径 $300\text{mm}$ に対して、球面回帰の曲率半径 $9.3\text{mm}$ となっており、上記したようにゴースト性能上で有利な形状となっている。

【0065】次に、第2反射面を正の曲率半径のレンズ

面と仮定すると、第2反射面で反射した光線はより下向きになり、より光軸から離れた像面上の位置にゴースト像を作る。従って、第1反射面が撮像素子7の撮像面で、第2反射面が第1レンズ1の物体側のレンズ面であるゴーストは、第1レンズ1の物体側のレンズ面を、正の曲率半径でより小さくすることによって改善できる。実際上は、レンズ面の反射防止コーティングにより、ある程度ゴーストを緩和できるので、他の性能も考慮し、第1レンズ1の物体側のレンズ面の曲率半径は決定される。

【0066】以上説明した変曲点やレンズ面傾きとゴーストを総合して、数(10)に規定した条件としてある。

【0067】

【実施例】以下、本発明の一実施の形態による単焦点レ

$$Z = (h^2/r) / \{1 + \sqrt{\{1 - (K+1)h^2/r^2\}} + A4h^4 + A6h^6 + A8h^8 + A10h^{10} \} \quad \dots (13)$$

〔実施例1〕実施例1は、次の条件を満たすようにして設計した単焦点プラスチックレンズである。

$f = 3.32$

$FNO. = 1:2.94$

S	r	d	N	$\nu$
1	300.000	0.900	1.49200	57.9
2	1.629	3.000		
3	(絞り)	0.485		
4	-29.883	1.450	1.49200	57.9
5	-2.546	1.200		
6	5.860	1.900	1.49200	57.9
7	-1.900	0.000		
8	-1.900	0.900	1.58390	30.3
9	-12.500			

第1面は非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$K = 0.0$

$A4 = 3.067 \times 10^{-2}$

$A6 = -7.900 \times 10^{-3}$

$A8 = 8.313 \times 10^{-4}$

$A10 = 2.002 \times 10^{-5}$

第2面も非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$K = -8.514 \times 10^{-2}$

$A4 = 4.706 \times 10^{-2}$

$A6 = 2.893 \times 10^{-2}$

$A8 = -3.967 \times 10^{-2}$

$A10 = 1.671 \times 10^{-2}$

第5面も非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$K = -0.6592$

$A4 = 6.219 \times 10^{-4}$

$A6 = -1.660 \times 10^{-3}$

レンズの実施例として、F2.8で水平画角60~45度の広角な単焦点プラスチックレンズで、1/4インチCCDセンサ用の例について説明する。

【0068】以下の実施例において、 $r(i)$ は物体側より順に第*i*番目のレンズ面 $S(i)$ の曲率半径であり、 $d(i)$ はレンズ面 $S(i)$ からレンズ面 $S(i+1)$ の間の光軸上の距離であり、 $N(j)$ は物体側より順に第*j*番目のレンズの屈折率であり、 $\nu(j)$ は物体側より順に第*j*番目のレンズのアッベ数である。画角は実光線で1/4インチCCDセンサの対角画角を表している。また、非球面形状は、光軸方向のサグ量 $Z$ で表され、光軸からの高さ $h$ 、近軸の曲率半径 $r$ 、円錐定数 $K$ 、4次、6次、8次、10次の非球面項の係数を用い、式(13)で定義される。

水平画角=60.0°(対角画角73.9°)

上記の条件を満たす単焦点レンズの各レンズの定数は、以下のとおりである。

$A8 = 6.663 \times 10^{-4}$

$A10 = -1.212 \times 10^{-4}$

第6面も非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$K = 4.826$

$A4 = 2.680 \times 10^{-3}$

$A6 = 1.677 \times 10^{-6}$

$A8 = -8.672 \times 10^{-5}$

$A10 = 6.648 \times 10^{-5}$

第9面も非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$K = -26.15$

$A4 = 1.405 \times 10^{-3}$

$A6 = -1.698 \times 10^{-4}$

$A8 = 1.733 \times 10^{-4}$

$A10 = -3.369 \times 10^{-5}$

以上のような定数を有する4枚のレンズによって構成された単焦点レンズに対する式(9)の条件に対する関係は、以下の通りである。

$$\Psi 1(a) + \Psi 1(b) = 0.015 + (-0.022) = -0.007$$

式(4)の条件に対する関係は、以下の通りである。なお、色収差補正のための条件なので、色収差量も合わせて示している。倍率色収差の評価像高は、各実施例ごとに歪曲収差の分異なり、像高1.7~1.8mmである。

$$r/f = -0.57$$

$$\text{軸上色収差 (mm)} = 0.023$$

$$\text{倍率色収差 (mm)} = 0.011$$

式(10)の条件に対する関係は、以下の通りである。

$$B1 = -1.01$$

第1レンズ1のベンディング係数B1を上記の値とすることにより、第1レンズ1の物体側のレンズ面での変曲点を防止し、像面側のレンズ面有効径での最大傾き $\theta$ を以下の通りの値としている。

$$\theta = 56.3^\circ$$

また、第1レンズ1の物体側のレンズ面を球面帰回した曲率半径と、近軸の曲率半径とを比較して示すと以下のようになる。

$$\text{球面帰回の曲率半径} = 9.3 \text{ mm}$$

$$\text{近軸の曲率半径} = 300 \text{ mm}$$

図7は、撮影距離2mでの実施例1に関する収差図である。図7(A)は、コマ収差図であり、最大像高2.25mmに対して、図7(A-1-1)、(A-1-2)

S	r	d	N	$\nu$
1	300.000	0.900	1.49200	57.9
2	1.977	3.000		
3	(絞り)	0.485		
4	-25.019	1.400	1.49200	57.9
5	-2.574	1.200		
6	5.884	1.700	1.49200	57.9
7	-2.100	0.000		
8	-2.100	0.900	1.58390	30.3
9	-16.000			

第1面は非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$$K = 0.0$$

$$A4 = 3.470 \times 10^{-2}$$

$$A6 = -7.420 \times 10^{-3}$$

$$A8 = 7.059 \times 10^{-4}$$

$$A10 = 2.523 \times 10^{-5}$$

第2面も非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$$K = 2.687 \times 10^{-2}$$

$$A4 = 5.344 \times 10^{-2}$$

$$A6 = 2.910 \times 10^{-2}$$

$$A8 = -3.233 \times 10^{-2}$$

$$A10 = 1.322 \times 10^{-2}$$

第5面も非球面であり、式(13)の係数は以下の通り

は、相対像高1.0mmのポイントでのコマ収差を表しており、図7(A-2-1)、(A-2-2)は、相対像高0.9mmのポイントでのコマ収差を表しており、図7(A-3-1)、(A-3-2)は、相対像高0.6mmのポイントでのコマ収差を表しており、図7(A-4-1)、(A-4-2)は、相対像高0.3mmのポイントでのコマ収差を表しており、図7(A-5-1)、(A-5-2)は、相対像高0mmのポイントでのコマ収差を表している。図7(B)は、球面収差を表しており、図7(C)は、正弦条件を表している。図7(D)は、非点収差を表しており、実線は、球欠光線Sに対する非点収差を表し、点線は、子午光線Tに対する非点収差を表している。図7(E)は、歪曲収差を表している。

【0069】収差図座標の最大値は、コマ収差が $\pm 20 \mu\text{m}$ 、球面収差と正弦条件が $\pm 50 \mu\text{m}$ 、歪曲収差が $\pm 10\%$ である。非点収差が $\pm 50 \mu\text{m}$ である。

【0070】〔実施例2〕実施例2は、次の条件を満たすように設計した単焦点プラスチックレンズである。

$$f = 3.68$$

$$\text{FNO.} = 1:2.94$$

$$\text{水平画角} = 53.8^\circ (\text{対角画角 } 66.1^\circ)$$

上記の条件を満たす単焦点レンズの各レンズ定数は、以下のとおりである。

である。

$$K = -0.6351$$

$$A4 = 3.863 \times 10^{-4}$$

$$A6 = -1.697 \times 10^{-3}$$

$$A8 = 6.615 \times 10^{-4}$$

$$A10 = -1.197 \times 10^{-4}$$

第6面も非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$$K = 4.399$$

$$A4 = 2.167 \times 10^{-3}$$

$$A6 = 1.591 \times 10^{-4}$$

$$A8 = -1.599 \times 10^{-4}$$

$$A10 = 5.389 \times 10^{-5}$$

第9面も非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$$K = -34.74$$

$$A4 = 1.859 \times 10^{-3}$$

$$A6 = 4.445 \times 10^{-4}$$

$$A8 = -1.044 \times 10^{-4}$$

$$A10 = 1.135 \times 10^{-5}$$

以上のような定数を有する4枚のレンズによって構成された単焦点レンズに対する式(9)の条件に対する関係は、以下の通りである。

$$\Psi 1(a) + \Psi 1(b) = 0.017 + (-0.027) = -0.010$$

式(4)の条件に対する関係は、以下の通りである。なお、色収差補正のための条件なので、色収差量も合わせて示している。倍率色収差の評価像高は、各実施例ごとに歪曲収差の分異なり、像高1.7~1.8mmである。

$$r/f = -0.57$$

$$\text{軸上色収差 (mm)} = 0.022$$

$$\text{倍率色収差 (mm)} = 0.011$$

式(10)の条件に対する関係は、以下の通りである。

$$B1 = -1.01$$

第1レンズ1のベンディング係数B1を上記の値とすることにより、第1レンズ1の物体側のレンズ面での変曲点を防止し、像面側のレンズ面有効径での最大傾き $\theta$ を以下の通りの値としている。

$$\theta = 56.4^\circ$$

S	r	d	N	$\nu$
1	300.000	0.900	1.49200	57.9
2	2.543	3.000		
3	(絞り)	0.485		
4	-16.061	1.450	1.49200	57.9
5	-2.671	1.200		
6	6.396	1.630	1.49200	57.9
7	-2.500	0.000		
8	-2.500	0.900	1.58390	30.3
9	-21.712			

第1面は非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$$K = 0.0$$

$$A4 = 3.953 \times 10^{-2}$$

$$A6 = -7.095 \times 10^{-3}$$

$$A8 = 6.225 \times 10^{-4}$$

$$A10 = 4.185 \times 10^{-5}$$

第2面も非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$$K = 0.2553$$

$$A4 = 5.579 \times 10^{-2}$$

$$A6 = 2.998 \times 10^{-2}$$

$$A8 = -2.924 \times 10^{-2}$$

$$A10 = 1.114 \times 10^{-2}$$

第5面も非球面であり、式(13)の係数は以下の通り

また、第1レンズ1の物体側のレンズ面を球面帰回した曲率半径と、近軸の曲率半径とを比較して示すと以下のようになる。

$$\text{球面帰回の曲率半径} = 7.2 \text{ mm}$$

$$\text{近軸の曲率半径} = 300 \text{ mm}$$

図8は、撮影距離2mでの実施例2に関する収差図である。図8(A)は、コマ収差図であり、図8(B)は、球面収差を表しており、図8(C)は、正弦条件を表しており、図8(D)は、非点収差を表しており、実線は、球欠光線Sに対する非点収差を表し、点線は、子午光線Tに対する非点収差を表しており、図8(E)は、歪曲収差を表している。図8(A)の各図は、図7で説明したのと同じ像高のポイントに対するコマ収差を表している。

【0071】収差図座標の最大値は、コマ収差が $\pm 20 \mu\text{m}$ 、球面収差と正弦条件が $\pm 50 \mu\text{m}$ 、歪曲収差が $\pm 10\%$ である。非点収差が $\pm 50 \mu\text{m}$ である。

【0072】〔実施例3〕実施例3は、次の条件を満たすように設計した単焦点プラスチックレンズである。

$$f = 4.42$$

$$\text{FNO.} = 1:2.94$$

$$\text{水平画角} = 44.5^\circ (\text{対角画角} 54.4^\circ)$$

上記の条件を満たす単焦点レンズの各レンズ定数は、以下のとおりである。

である。

$$K = -0.6096$$

$$A4 = 1.976 \times 10^{-4}$$

$$A6 = -1.808 \times 10^{-3}$$

$$A8 = 6.295 \times 10^{-4}$$

$$A10 = -1.005 \times 10^{-4}$$

第6面も非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$$K = 4.317$$

$$A4 = 2.046 \times 10^{-3}$$

$$A6 = 2.508 \times 10^{-4}$$

$$A8 = -1.682 \times 10^{-4}$$

$$A10 = 2.773 \times 10^{-5}$$

第9面も非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$$K = -60.03$$

$$A4 = 2.362 \times 10^{-3}$$

$$A6 = 1.018 \times 10^{-3}$$

$$A8 = -3.880 \times 10^{-4}$$

$$A10 = 6.096 \times 10^{-5}$$

以上のような定数を有する4枚のレンズによって構成された単焦点レンズに対する式(9)の条件に対する関係は、以下の通りである。

$$\Psi 1(a) + \Psi 1(b) = 0.019 + (-0.028) = -0.009$$

式(4)の条件に対する関係は、以下の通りである。なお、色収差補正のための条件なので、色収差量も合わせて示している。倍率色収差の評価像高は、各実施例ごとに歪曲収差の分異なり、像高1.7~1.8mmである。

$$r/f = -0.57$$

$$\text{軸上色収差 (mm)} = 0.023$$

$$\text{倍率色収差 (mm)} = 0.012$$

式(10)の条件に対する関係は、以下の通りである。

$$B1 = -1.02$$

第1レンズ1のベンディング係数B1を上記の値とすることにより、第1レンズ1の物体側のレンズ面での変曲点を防止し、像面側のレンズ面有効径での最大傾き $\theta$ を以下の通りの値としている。

$$\theta = 53.8^\circ$$

S	r	d	N	$\nu$
1	150.000	0.900	1.49200	57.9
2	2.585	3.000		
3	(絞り)	0.485		
4	-16.578	1.450	1.49200	57.9
5	-2.658	1.200		
6	6.298	1.630	1.49200	57.9
7	-2.500	0.000		
8	-2.500	0.900	1.58390	30.3
9	-24.330			

第1面は非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$$K = 0.0$$

$$A4 = 3.974 \times 10^{-2}$$

$$A6 = -6.887 \times 10^{-3}$$

$$A8 = 6.153 \times 10^{-4}$$

$$A10 = 3.315 \times 10^{-5}$$

第2面も非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$$K = 0.2846$$

$$A4 = 5.708 \times 10^{-2}$$

$$A6 = 2.828 \times 10^{-2}$$

$$A8 = -2.646 \times 10^{-2}$$

$$A10 = 1.010 \times 10^{-2}$$

第5面も非球面であり、式(13)の係数は以下の通り

また、第1レンズ1の物体側のレンズ面を球面帰回した曲率半径と、近軸の曲率半径とを比較して示すと以下のようになる。

$$\text{球面帰回の曲率半径} = 6.1 \text{ mm}$$

$$\text{近軸の曲率半径} = 300 \text{ mm}$$

図9は、撮影距離2mでの実施例3に関する収差図である。図9(A)は、コマ収差図であり、図9(B)は、球面収差を表しており、図9(C)は、正弦条件を表しており、図9(D)は、非点収差を表しており、実線は、球欠光線Sに対する非点収差を表し、点線は、子午光線Tに対する非点収差を表しており、図9(E)は、歪曲収差を表している。図9(A)の各図は、図7で説明したのと同じ像高のポイントに対するコマ収差を表している。

【0073】収差図座標の最大値は、コマ収差が $\pm 20 \mu\text{m}$ 、球面収差と正弦条件が $\pm 50 \mu\text{m}$ 、歪曲収差が $\pm 10\%$ である。非点収差が $\pm 100 \mu\text{m}$ である。

【0074】〔実施例4〕実施例4は、次の条件を満たすように設計した単焦点プラスチックレンズである。

$$f = 4.41$$

$$\text{FNO.} = 1:2.94$$

$$\text{水平画角} = 44.6^\circ (\text{対角画角} 54.4^\circ)$$

上記の条件を満たす単焦点レンズの各レンズ定数は、以下のとおりである。

である。

$$K = -0.5909$$

$$A4 = 2.406 \times 10^{-5}$$

$$A6 = -1.796 \times 10^{-3}$$

$$A8 = 6.101 \times 10^{-4}$$

$$A10 = -9.318 \times 10^{-5}$$

第6面も非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$$K = 3.779$$

$$A4 = 1.683 \times 10^{-3}$$

$$A6 = 9.991 \times 10^{-5}$$

$$A8 = -1.480 \times 10^{-4}$$

$$A10 = 3.339 \times 10^{-5}$$

第9面も非球面であり、式(13)の係数は以下の通りである。

$$K = -45.54$$

$$A4 = 2.277 \times 10^{-3}$$

$$A6 = 1.012 \times 10^{-3}$$

$$A8 = -4.314 \times 10^{-4}$$

$$A10 = 6.514 \times 10^{-5}$$

以上のような定数を有する4枚のレンズによって構成された単焦点レンズに対する式(9)の条件に対する関係は、以下の通りである。

$$\Psi 1(a) + \Psi 1(b) = 0.020 + (-0.029) = -0.009$$

式(4)の条件に対する関係は、以下の通りである。なお、色収差補正のための条件なので、色収差量も合わせて示している。倍率色収差の評価像高は、各実施例ごとに歪曲収差の分異なり、像高1.7~1.8mmである。

$$r/f = -0.57$$

$$\text{軸上色収差 (mm)} = 0.023$$

$$\text{倍率色収差 (mm)} = 0.011$$

式(10)の条件に対する関係は、以下の通りである。

$$B1 = -1.04$$

第1レンズ1のベンディング係数B1を上記の値とすることにより、第1レンズ1の物体側のレンズ面での変曲点を防止し、像面側のレンズ面有効径での最大傾き $\theta$ を以下の通りの値としている。

$$\theta = 53.7^\circ$$

また、第1レンズ1の物体側のレンズ面を球面帰回した曲率半径と、近軸の曲率半径とを比較して示すと以下のようになる。

$$\text{球面帰回の曲率半径} = 5.9 \text{ mm}$$

$$\text{近軸の曲率半径} = 150 \text{ mm}$$

図10は、撮影距離2mでの実施例4に関する収差図である。図10(A)は、コマ収差図であり、図10(B)は、球面収差を表しており、図10(C)は、正弦条件を表しており、図10(D)は、非点収差を表しており、実線は、球欠光線Sに対する非点収差を表し、点線は、子午光線Tに対する非点収差を表しており、図10(E)は、歪曲収差を表している。図10(A)の各図は、図7で説明したのと同じ像高のポイントに対するコマ収差を表している。

【0075】収差図座標の最大値は、コマ収差が $\pm 20 \mu\text{m}$ 、球面収差と正弦条件が $\pm 50 \mu\text{m}$ 、歪曲収差が $\pm 10\%$ である。非点収差が $\pm 100 \mu\text{m}$ である。

【0076】以上説明したように、本実施の形態によれば、Fナンバーが2.8で大口径比で明るく、水平画角が60度乃至45度の広角で、しかも、レンズ枚数が4

枚と少ない単焦点レンズをオールプラスチック化でき、しかも、オールプラスチック化するために用いる非球面プラスチックレンズによって発生する諸収差を効果的に補正することができる。

【0077】また、オールプラスチック化することにより、単焦点レンズのコストを低減できる。

【0078】

【発明の効果】本発明によれば、大口径比で明るく、広角で、しかも、レンズ枚数の少ない単焦点レンズをオールプラスチック化するとともに、非球面プラスチックレンズを用いたことにより発生する諸収差を補正することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態による単焦点レンズのレンズ構成図である。

【図2】ベンディング係数Bを変化させた時のレンズ形状を模式的に示す図である。

【図3】ベンディング係数B1=-0.91のレンズに非球面を設けた時のレンズ形状を模式的に表す図である。

【図4】ベンディング係数B1=-1.11のレンズのレンズ面の傾きを説明する図である。

【図5】第1反射面が撮像素子の撮像面であり、第2反射面が第1レンズの物体側のレンズ面で、且つ、平面である場合のゴーストの反射光線を模式的に表した図である。

【図6】第1反射面が撮像素子の撮像面であり、第2反射面が第1レンズの物体側のレンズ面である場合のゴーストの様子を示す図である。

【図7】本発明の一実施の形態による単焦点レンズのうち、実施例1に関する収差図である。

【図8】本発明の一実施の形態による単焦点レンズのうち、実施例2に関する収差図である。

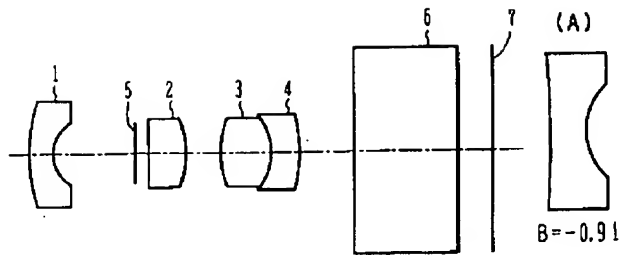
【図9】本発明の一実施の形態による単焦点レンズのうち、実施例3に関する収差図である。

【図10】本発明の一実施の形態による単焦点レンズのうち、実施例4に関する収差図である。

【符号の説明】

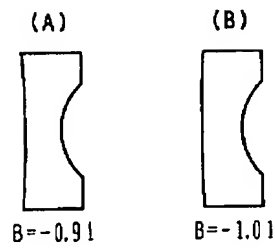
- 1…第1レンズ
- 2…第2レンズ
- 3…第3レンズ
- 4…第4レンズ
- 5…絞り
- 6…平行平板
- 7…撮像素子

【図1】

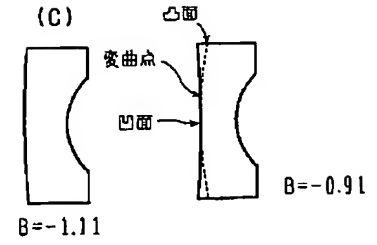


- 1:第1レンズ  
2:第2レンズ  
3:第3レンズ  
4:第4レンズ  
5:絞り

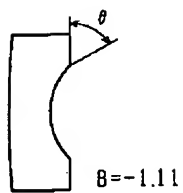
【図2】



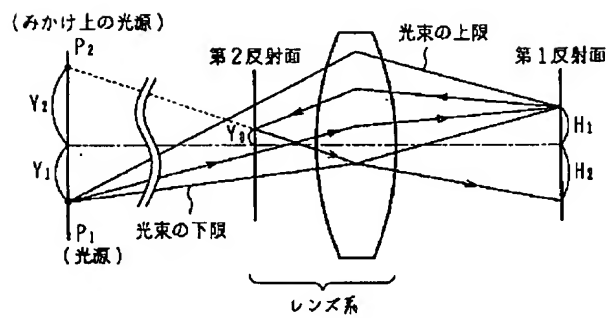
【図3】



【図4】

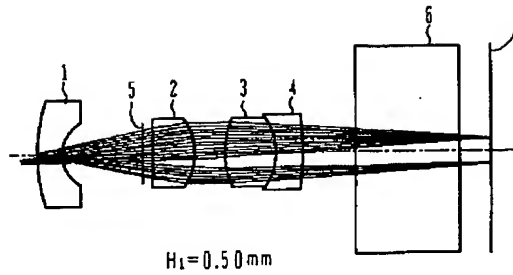


【図5】

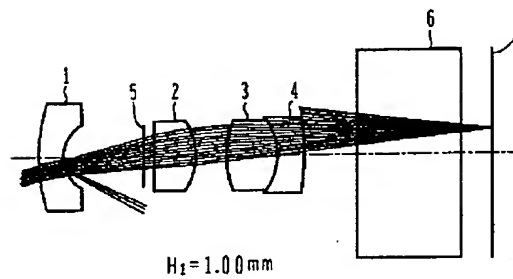


【図6】

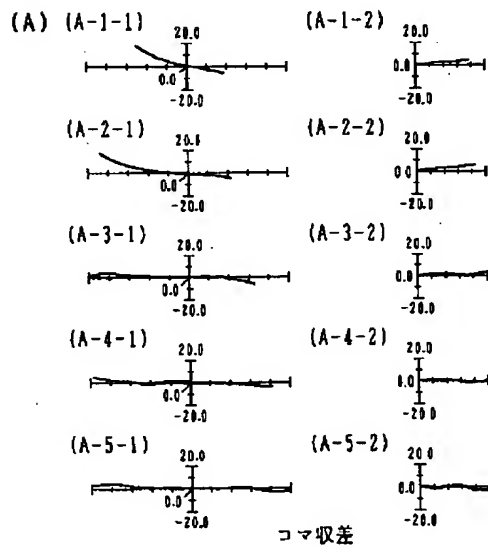
(A)



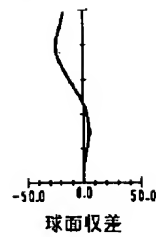
(B)



【図7】



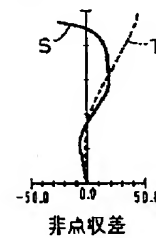
(B)



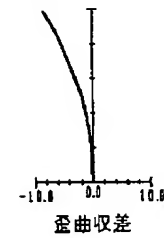
(C)



(D)

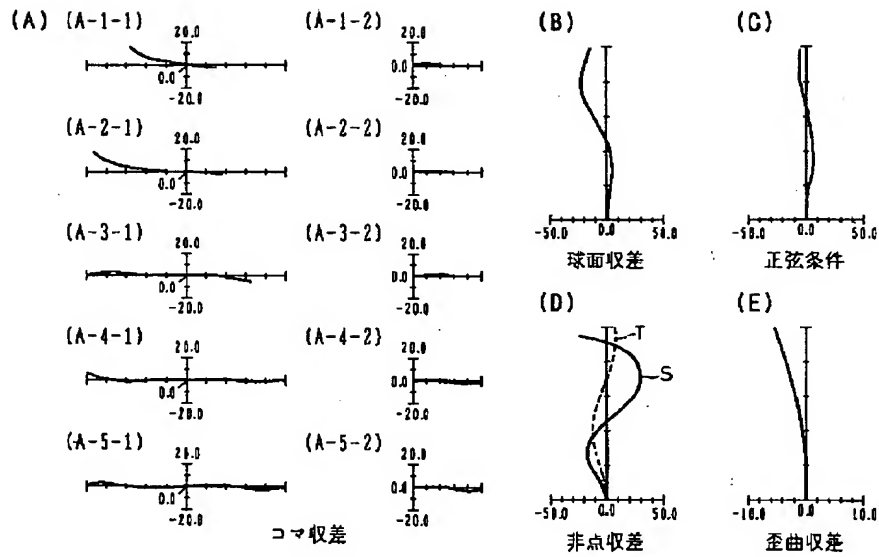


(E)

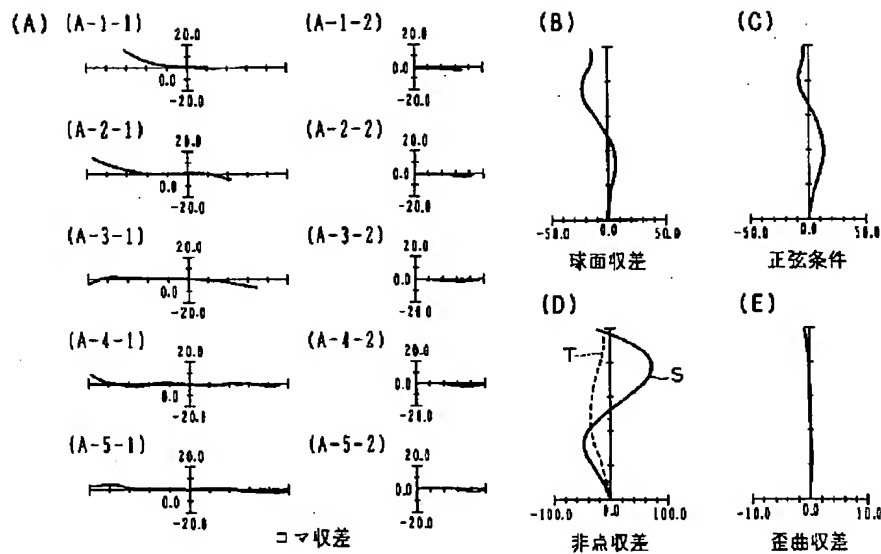




【図8】



【図9】



【図10】

